

負性コンダクタンスを有する半導体振動回路に関する研究

著者	木村 英俊
号	86
発行年	1965
URL	http://hdl.handle.net/10097/8822

氏 名 (本 籍)	木 村 英 俊 (北 海 道)
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 8 6 号
学位授与年月日	昭和 4 1 年 3 月 2 5 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気及通信工学専攻
学 位 論 文 題 目	負性コンダクタンスを有する半導体振動回路に関する研究
	(主 査)
論 文 審 査 委 員	教 授 真 野 国 夫 教 授 西 沢 潤 一 教 授 喜 安 善 市 教 授 松 尾 正 之 助教授 高 木 相

論 文 内 容 要 旨

緒 論

最近種々の半導体振動回路が広く用いられつつある。これらに関する従来の研究では、主要な役割をはたしている回路中の非線形性が十分考慮されていないため、その基本特性が明確に把握されていない。したがって、一般半導体振動回路の研究において重要なそれらの統一的な取扱いが十分行なわれず、基本となる諸特性の根本的な究明にはいまだ多くの問題が残されていた。

本論文は、これら半導体振動回路の最も基本的かつ代表的な形と考えられる負性コンダクタンス形振動回路について、後述のごとくその回路に含まれる非線形負性コンダクタンスの特性に着目してその基本的性質を詳細に明らかにするとともに、その結果をもととして種々の問題点を統

一的に把握し、解明したものであり、その結果、半導体振動回路解析の基礎が確立できたと同時に、多くの回路において実用に供するための諸資料を得たものである。

第1編 単一共振回路を含む系の 一般特性と線形に近い場合の振動

負性コンダクタンス形振動回路の基本形としては、図1に示すような負性コンダクタンス $g(v)$ と並列共振回路とからなる系が考えられる。本編ではまずこの基本となる系の一般特性と線形に近い場合について研究したものである。

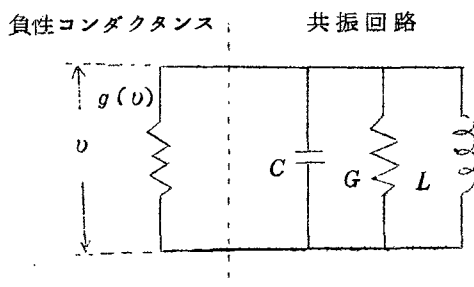


図 1

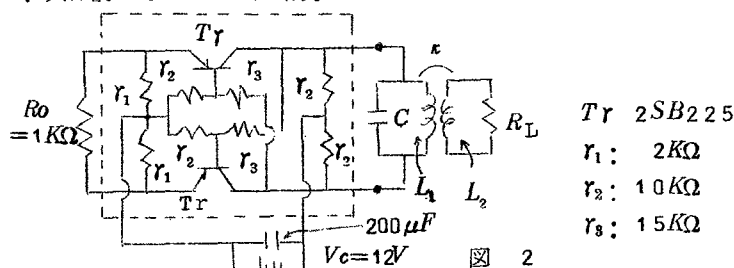
まず、図1の振動系において主要な役割をはたす負性コンダクタンス特性 $g(v)$ に対し、その一般的かつ実用的に有効な表示として

$$g(v) = a_0 + a_1 v + a_2 v^2 + a_3 v^3 + a_4 v^4 \quad (1)$$

を採用し非線形振動論を適用してこの系の基本動作に関する各値を求めることにより、その諸性質と負性コンダクタンス特性との関係を明らかにした。

この相関をさらに明確にするために、実際の負性コンダクタンス形振動回路の基本形に対応する代表例として実用上も重要なエサキダイオード発振器をとりあげてその動作を詳細に検討した。まずエサキダイオードのコンダクタンス特性の表示に関して著者はその曲線の極小点と変曲点に着目した4次関数近似を新たに提案し、これよりその特性を適確に表現できることを示した。エサキダイオード発振器の基本的な等価回路は図1にほぼそのまま対応するので、先の考察の結果に新たな表示式を適用してその動作特性を詳しく検討した。その結果、先に得た基本形の特性と負性コンダクタンス特性との相関を一層明確に把握できた。またこれと同時に、エサキダイオード発振器自体についてはエサキダイオードの負性コンダクタンス特性の新たな表示によつて従来明確にされていなかった動作特性の詳細を十分明らかにでき、またこの回路で重要な問題点であった履歴現象、寄生振動などについても十分解明できて、実用上も十分な結果を得た。

さらに、具体的なもう一つの回路例として図2に示すトランジスタ発振器の一例をとりあげた。



この回路は、いわゆるトランジスタ負性インピーダンス変換器を安定度向上の目的で改良したものをを用いて構成されたものであるが、その発振の安定性がこれまで明らかにされず、実用上重要な課題とされていた。そこで、この発振振幅および周波数の安定度を前の考察の結果を適用して検討することにより、安定度と回路条件との関連を明らかにし、実用的にも十分有用な資料を得た。

第2編 単一共振回路を含む 非線形性の大きい系の振動

単一共振回路を含む基本形の特性としては前編に検討した一般特性と線形に近い場合の特性のほか、非線形性の大きい場合の特性が重要である。図1の基本形で非線形性の大きい場合はいわゆるし張振動の生じる場合に相当するもので、本編では、このし張振動の状態について研究したものである。

先の図1の系で非線形性の大きい場合について、まずその基本的な動作特性を検討し、ついで、その結果の適用の具体例として大電流エサキダイオードの実現を図り、これを発振器へ応用することを考えた。そうして実際には10～15Aの試料を試作し、さらに、改良を加えて、この大きさのエサキダイオードの実用性を初めて確立したと同時に、それらの発振器応用の有効範囲および限界などについても先の考察ならびに試作試料による実験結果から求め、大電流エサキダイオードの発振器への応用に対する実用性を明らかにした。

さらに、トランジスタによるし張振動系と図1の基本形との関連を明らかにするために、トランジスタブロッキング発振器の一回路例をとりあげた。まず、その等価負性コンダクタンスを導き、その特性と回路定数との関連を示すことによつて、この回路と基本的な図1の形との対応を明らかにした。

第1編で得たこの基本形の一般特性と線形に近い場合に対する結果と、本編の非線形性の大きい場合の結果とをあわせて、負性コンダクタンス形振動回路の最も基本となる単一共振回路を含

む系の諸特性は十分明確にできたものとする。

第3編 単一共振回路を含む振動系の結合

負性コンダクタンス形振動回路においては以上に検討した基本形よりさらに複雑な種々の形の回路があり、多くの重要な問題が残されている。これらの問題点を統一的に考察するため著者はまず第1編、第2編に述べた基本形を基準としてこれらの問題点を分析し、これら複雑な系の主要なものが単一共振回路をもつ系の結合されたものと、負性コンダクタンスと複合共振回路とが組み合わされたものであるとの結論を得た。そうしてそれぞれの系の主要な問題点を本編およびつぎの第4編に検討した。

まず本編では単一共振回路を含む系の結合の問題をとりあげ、従来になかった統一的な考察によりこの結合の問題の主要なものとしては結合の強い場合における負性コンダクタンス素子の動作点安定性の問題と、結合の弱い場合における発振器相互の同期現象の問題とがあることを示すとともに、一般的な結合の具体例としてエサキダイオードを2個用いた回路構成を検討して、その結果種々の特徴をもつブッシュブル形サキダイオード発振器を提案した。

ついで結合の強い場合の具体的な問題として、これまで主要な課題とされていた直列エサキダイオードの動作点安定性の問題を検討して、従来の疑問点であつた平衡、不平衡バイアス状態の安定性と振動モードの相関を明確にした。

つぎに結合の弱い場合の代表的な問題として、抵抗結合による発振器の相互同期の問題をとりあげ、従来知られている同相同期の得られる図3(a)の結合とはまったく対照的な図3(b)の結合方式を新たに提案した。これにより従来得られかつた逆相状態での同期発振が得られることを示

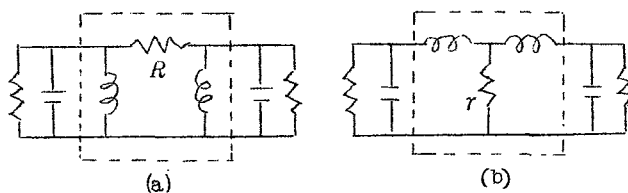


図 3

した。さらに、これら二つの結合抵抗を含めた一般的な相互同期発振器の諸特性を検討してその詳細を明らかにした。また、著者の提案した逆相同期方式による同期発振器で、広範囲の回路条件に対して実用上も十分な出力が得られることを示した。ついで、この新しい結合方式を用いて三つの発振器を結合することにより3相振動発生回路を構成し、これにより安定な3相振動を得るとともに、相回転方向の決定など回路応用上も重要な結果を得た。

第4編 複合共振回路を含む系の振動

本編では一般の複雑な系のもう一つの主要なものである複合共振回路をもつ系において代表的な自由度2の振動系について研究したものである。

こゝでは、複合共振回路をもつ自由度2の系の一般的な回路構成として図4に示すものを対象とし、こゝに生じ得る単一周波振動、同期同時振動（内部同期振動）、非同期同時振動の各々について考察して、従来明らかでなかった単一周波振動における振動振幅と回路構成との関連、同期同時振動における振動振幅比および同期範囲、さらにはこれら各振動状態相互の関連などをいずれも明らかにでき、この系の基本動作を十分解明できた。

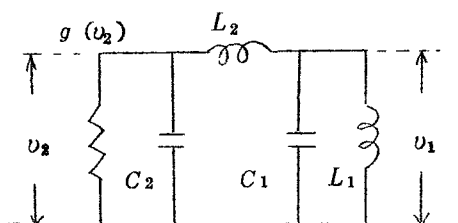


図 4

ついで、現在の重要な問題となつている単一共振回路をもつ系に相対的に大きい寄生要素が含まれる場合がちょうど図4の複合共振回路をもつ系に対応することに着目し、その複雑な動作特性の検討を、先の考察の結果を適用した新たな観点から行なうことにより、先の考察の結果得られている各特性を実験的にも確かめるとともに、寄生素子を含めて全体の回路の動作を所望の状態とするための条件を示し、寄生素子の影響に対する対策を示して有効な結果を得た。

総 合 的 結 論

本研究においては、半導体振動回路の基本形の一つは負性コンダクタンス形振動回路であることを指摘し、まずその基礎となる単一共振回路を含む系の詳細な動作特性を明らかにするとともに、その結果をもととしてより複雑な系についての主要な問題点の解明および新しい提案などを行なつた。それと同時に、それぞれの具体的な回路例に対して実用上設計に必要な種々の条件、多くの改良などを行うことができる。

以上の結果、この負性コンダクタンス形振動回路の詳細な特性を統一的に十分明確にでき、一般半導体振動回路の研究に有効な基礎が得られ、同時に具体的回路例に対し、重要な多くの資料を得ることができたと考える。

謝

辞

終りに、本研究に終始ご指導、ご鞭撻を賜わった真野国夫教授、有益なるご教示を賜わった喜安善市教授、西沢潤一教授、松尾正之教授ならびに本学諸先生、ご討論、ご助言を載いた高木相助教授の方々に深く感謝する次第である。

審 査 結 果 の 要 旨

半導体能動素子の著しい発展にともない、その応用回路は数多く、かつ広範囲に利用され、著しい発展を遂げつつある。これら応用回路の重要な一つである振動回路の分野においても、種々研究され、多く利用されているが、それらの基礎的かつ統一的な見解は、必ずしも十分ではない。とくに、これら振動回路においては、含まれる非線形特性が、本質的な役割をなすものであるにもかかわらず、最近著しく発展した非線形理論の応用研究結果の活用という点では、極めて不十分な実情である。

したがって、半導体振動回路の基本形に関し、その特性を明確に把握するとともに、それを基礎とし、非線形理論を駆使して、統一的に解析し、その結果を実際回路に適用して、その利用の基礎となるよう系統的体系を与えることは、重要な課題であつた。

本論文は、半導体振動回路のうち、負性コンダクタンス形回路が、その基本形であることから、その特性を詳細に検討して、これを明確にするとともに、より複雑な回路の特性を統一的に把握し、これらの動作を詳細に解明することにより、半導体振動回路の基礎を確立しようとしたものである。同時に、その結果を利用して、具体的な回路について解析検討することにより、半導体振動回路に関する解析方法をより一層明確にするとともに、実際の回路利用に対する多くの資料を得て、関係分野の発展に寄与しようとしたもので、4編23章よりなる。

第1編では、まず一般に、振動回路に対し、その負性コンダクタンス特性との相関を主体に、一般特性と、線形に近い系について詳細な考察を加え、基礎となるべき諸特性を理論的に明確にしている。

つぎに、上述の理論を適用した具体的な例として、エサキダイオード発振器につき、詳細な検討を加え、必要とする諸量を理論的に得るとともに、従来定量的に不明であつた発振履歴、寄生振動などの重要な諸現象を解明し、その結果、これらの防止対策を提案している。

また、他の例として、負性インピーダンス変換形トランジスタ発振器に関し、基礎的回路解析を行ない、高信頼性発振器として、有益な結果を得ている。

第2編では、単一共振回路を含む非線形の大きい系、すなわち、し張振動系の基本形について考察し、能動素子の非線形特性をいかに扱うべきかの示唆を与えている。これを利用し、大電流エサキダイオードを設計し、その応用について、有益な資料を得ている。これは、エサキダイオードの応用に関する新しい試みである。さらに、し張系をなすトランジスタ振動系の解析についても、新しい基礎を得ている。

第3編では、以上を基礎とし、実用的にも重要な、より複雑な負性コンダクタンス形振動回路の結合の問題を考察している。とくに、結合の強い場合と弱い場合について考察し、前者においては、従来全く不明であつた直列エサキダイオードの振動姿態について、起こり得る状態の安定性を理論的に考察し、その疑問を解明して、実用の有意性を明らかにしている。

後者においては、従来にない新しい逆相結合方式を提案して、発振回路理論を進展せしめるとともに、その実用性を高め、さらにこれを基礎として、新多相振動発生法を提案している。

これらは、すべて新しい知見と提案であり、有益なものである。

第4編では、さらに複雑な系として、複合共振回路を有する負性コンダクタンス形振動系の考察を行なっている。とくに、寄生振動の起こる条件、あるいは、二振動の共存の条件などについて、一般的な知見を与えるとともに、高調波の内部同期現象を定量的に把握している。

なお、従来全く不明であつた内部同期の振幅条件を与えたことは、大きい貢献である。

以上これを要するに、本論文は、半導体振動回路を非線形特性の立場から、基礎的、統一的に把握し、その基礎を確立するとともに、多くの提案をなし、あるいは問題の解明を行なつた結果を述べたものであつて、振動回路理論の進展、ならびに、実用的回路設計の基礎に関し、貢献したところが大きく、その工学的価値は大きい。

よつて、本論文は、工学博士の学位論文として合格と認める。